

ПУЗЫРЬ Р.Г., канд. техн. наук, КГПУ, г. Кременчуг
ДРАГОБЕЦКИЙ В.В., докт. техн. наук, проф. КГПУ, г. Кременчуг
МОСЬПАН Д.В., аспирант, КГПУ, г. Кременчуг
КОНДРАТЮК С.А., аспирант, КГПУ, г. Кременчуг

НОВОЕ ПОКОЛЕНИЕ ТРАНСФОРМИРУЕМОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПРОФИЛИРОВАНИЯ ОБОДЬЕВ КОЛЕС

Рассмотрен процесс радиально-ротационного профилирования сварных цилиндрических заготовок. Устранение разнотолщинности обода производится методом подбора схемы напряженно-деформированного состояния, которая существенно влияет на утонение в зонах радиусных закруглений готового изделия. Такой подход позволяет сократить количество трудоемких экспериментов, связанных с замером утонений и выявить наиболее приемлемый показатель напряженного состояния.

Ключевые слова: обод, колесо, радиально-ротационное профилирование, формоизменение, деформации, напряжения.

Розглянутий процес радіально-ротаційного профілювання зварених циліндричних заготовок. Усунення різної товщини ободу проводиться методом підбору схеми напружено-деформованого стану, котра істотно впливає на стоншення у зонах радіусних переходів готового виробу. Такий підхід дозволяє зменшити кількість складних експериментів, які пов'язані з замірами стоншень та виявити найбільш прийнятний показник напруженого стану.

Ключові слова: обід, колесо, радіально-ротаційне профілювання, формозміна, деформація, напруга.

The processing of radial-rotational profiling of welded cylindrical preparations is considered. The elimination different thickness of a rim is made by a trial and error method of the circuit is intense - is deformed condition, which essentially influences on thin zones in radius round of a ready product. Such approach allows to reduce quantity (amount) of the labour-consuming experiments connected to gauging thin zones and to reveal the most acceptable parameter of an intense condition.

Key words: wheel, radial-rotational profiling, forming, deformation, pressure.

1. Введение

Особое место среди процессов производства изделий из сварных цилиндрических заготовок занимает радиально–ротационное профилирование и методы штамповки с совмещением формоизменяющих операций. В условиях серийного и массового производства ободьев колес метод радиально–ротационного профилирования является наиболее эффективным технологическим процессом.

Теория и технология радиально–ротационного профилирования и совмещенных процессов формоизменения интенсивно развиваются, что позволило за последнее десятилетие значительно усовершенствовать производство большой номенклатуры изделий из сварных цилиндрических заготовок, разработать новые виды оборудования, технологической оснастки и инструментов.

2. Постановка проблемы

Сдерживающим фактором дальнейшего развития и использования прогрессивных технологий формоизменения является предшествующая разрушению локализация деформаций. На интенсивность деформаций, предшествующих разрушению, наиболее существенное влияние оказывает схема напряженно–деформированного со-

стояния и механических характеристик менее и более деформированных частей заготовки. Неравномерность развития деформации нельзя не учитывать при создании и совершенствовании оборудования и процессов формообразования деталей из сварных цилиндрических заготовок.

С учетом вышеизложенного, актуальной задачей является совершенствование технологии формоизменения сварных цилиндрических заготовок путем подбора рациональной схемы напряженно–деформированного состояния. Это позволит повысить точность расчета предельной степени формоизменения и объективность рекомендаций при проектировании технологии и оборудования.

При выборе и проектировании процесса изготовления ободьев колес необходимо по известной конфигурации детали выбрать метод формоизменения заготовки. Среди методов изготовления наиболее прогрессивным в настоящее время является методы локального деформирования, радиально–ротационного профилирования, обкатка, ротационная раздача, раскатка, формоизменение качающейся матрицей.

Производственный опыт показывает, что использование методов обкатки, раскатки и формоизменения качающейся матрицей при изготовлении ободьев колес может привести к интенсивному износу деформирующего инструмента, ямочному отрыву и формированию бороздчатого рельефа.

Процесс радиально–ротационного профилирования обеспечивает необходимое качество ободьев колес, однако, для повышения конкурентоспособности продукции остро стоит вопрос снижения разнотолщинности обода колеса. Для обеспечения минимальной разнотолщинности обода колеса необходимо выбрать схему профилирования, а именно, число и конфигурацию переходов, размеры заготовки. Не менее важным в этом вопросе является определение пластической устойчивости материала заготовки в опасных зонах при ограничениях, накладываемых на процесс геометрическими, технологическими, прочностными и конструктивными факторами.

На характер развития деформаций и на пластичность материала заготовки наибольшее влияние оказывает схема напряженного состояния и монотонность деформации. Особенно это проявляется, если заготовка содержит локальные зоны повышенной или пониженной пластичности.

В данном исследовании необходимо выбрать наиболее эффективную схему формоизменения обода колеса, обеспечивающую минимальную разнотолщинность и отсутствие локализации деформаций. Наибольшее утонение обода достигается в радиусных зонах. Радиусные зоны (переходы) оформляются при изгибе. Утонение материала непосредственно зависит от минимально допустимого радиуса изгиба. Наиболее эффективным способом уменьшения допустимого радиуса изгиба в холодном состоянии является создание благоприятной схемы напряженного состояния. Такой подход позволяет сократить количество трудоемких экспериментов, связанных с замером утонений и выявить наиболее приемлемый показатель напряженного состояния.

Создание более благоприятной схемы напряженного состояния в производственных условиях возможно путем создания дополнительного очага деформаций. Возможные схемы процесса (рис. 1):

- изгиб с дополнительным нагружением заготовки в тангенциальном направлении;
- изгиб с дополнительным нагружением заготовки в радиальном направлении;

- изгиб с дополнительным нагружением заготовки в меридиональном направлении;
- комбинированное и последовательное нагружение;

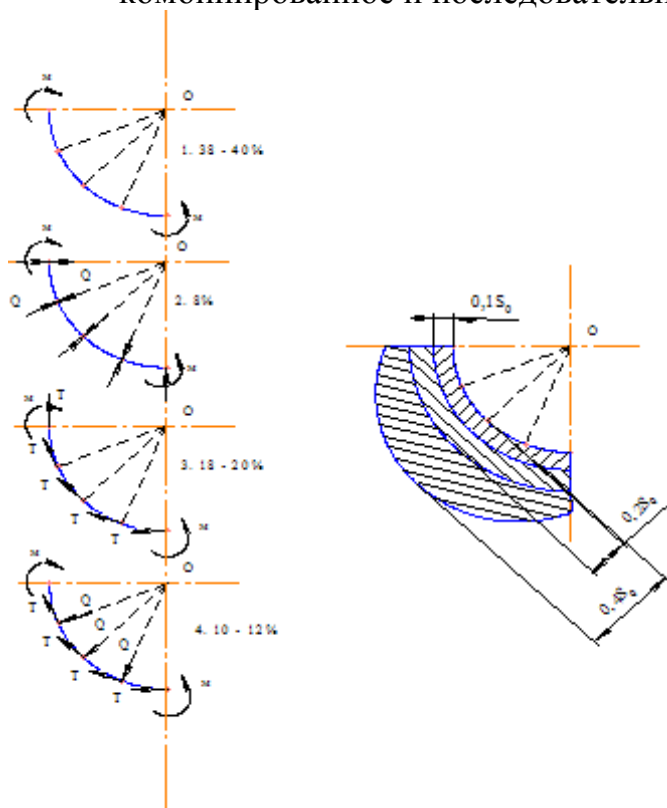


Рис. 1. Схемы изгиба с созданием дополнительного очага деформации

напряжения $\sigma_z \approx 0,5\sigma_\varphi$, действующие вдоль ребра изгиба.

Как правило, локализация деформаций перед разрушением не происходит. Только в некоторых случаях на наружных поверхностях возникает локализация так называемая "апельсиновая корочка". Влияние менее деформированных участков не сказывается на процессе формоизменения. Однако утонение достигает больших значений.

При гибке заготовки силой с внутренней поверхности находящейся в контакте с инструментом, возникает контактное напряжение f , которое приводит к смещению нейтрального слоя. При этом предельный радиус изгиба уменьшается до углов $\alpha = 60 - 70^\circ$.

При изгибе с дополнительным нагружением заготовки в тангенциальном направлении происходит смещение нейтрального слоя по направлению к наружной поверхности. Создание сжимающих напряжений в тангенциальном направлении позволяет уменьшить допустимое значение изгиба и практически исключает разнотолщинность.

Однако в зоне передачи усилия возможна потеря устойчивости, т.е. максимальное значение напряжения, которое можно дополнительно создать в очаге деформаций необходимо ограничить и локализовать деформации, которые при таком нагружении происходят.

К последним схемам относим: нагружение в последовательности "радиальное сжатие – изгиб"; "изгиб – радиальное сжатие"; изгиб – осевое сжатие; растяжение – изгиб (р–и); изгиб – растяжение – изгиб (и–р–и); растяжение + изгиб (р+и); изгиб +сжатие (и+с); сжатие – изгиб (с–и); изгиб – сжатие – изгиб (и–с–и) и т.д.

Среди способов уменьшения разнотолщинности детали при формоизменении является: формовка при переменном нагружении заготовки вдоль образующей; предварительное изменения профиля радиальных сечений заготовки.

Проведем анализ процессов гибки. При гибке широкой заготовки моментом, на наружных и внутренних поверхностях в местах изгиба контактные напряжения отсутствуют. На наружной поверхности возникают растягивающие тангенциальные

Изгиб с дополнительным нагружением заготовки в радиальном направлении позволяет уменьшить значения радиуса изгиба и разнотолщинность в очаге деформаций при создании дополнительного сжатия на выпуклой поверхности заготовки. Радиальное сжатие положительно влияет на возможность процесса изгиба. Утонение заготовки не превышает 10% от минимального радиуса изгиба. Для малоуглеродистой стали удастся уменьшить в 1,8–2,1 раза. При этом следует учитывать положительное влияние радиального сжатия на околошовную зону и то, что заготовка должна быть разгружена от изгибающего момента, а затем радиального усилия.

При обратной последовательности происходит образование трещин и хрупкое разрушение заготовки при предельно допустимых радиусах изгиба.

При нагружении в последовательности "радиальное сжатие – изгиб" заготовка предварительно сжимается в направлении перпендикулярном ее поверхности, а затем изгибается на требуемый угол. С увеличением радиальной сжимающей нагрузки минимальный радиус изгиба уменьшается примерно также, как и в предыдущем случае. Абсолютные значения утонения при погонной нагрузке (отношения давления ролика к площади поверхности контакта) не превышает 0,08 или до 8 %.

Следующая схема нагружения "изгиб – радиальное сжатие". В этом случае заготовка первоначально изгибается на заданный радиус, а затем сжимается в радиальном направлении. Процесс сопровождается утонением материала в зоне гибки. Последующее радиальное сжатие сопровождается дополнительным утонением. Относительное значение утонения колеблется от 0,07 или до 7 % в зависимости от нагрузки.

Возможны еще три схемы последовательного нагружения:

- растяжение – изгиб (р–и). Цилиндрическая заготовка перед профилированием подвергается раздаче;
- изгиб – растяжение – изгиб (и–р–и);
- растяжение + изгиб (р+и). В этом случае нагружение заготовки производится одновременно.

Предварительная раздача или осадка заготовки позволяет в дальнейшем уменьшить изгибающий момент и практически устраняет локализацию процесса разрушения. Максимальное увеличение утонения при удельной осевой нагрузке равной 0,65 составляет примерно 1–2 % по сравнению с обычной гибкой.

В заключении рассмотрим изгиб с осевым сжатием, т.е. предварительное обжатие цилиндрической заготовки. С точки зрения реализации этого процесса сравнительно легко осуществить при радиально–ротационном профилировании. По сравнению с обычной гибкой обжатие заготовки увеличивает деформацию удлинения выпуклой поверхности и смещает действительную нейтральную поверхность в направлении к центру кривизны. При всех возможных схемах изгиба со сжатием изменение толщины не значительно, а увеличения изгибающего момента значительное, порядка 2–3 раз.

Таким образом, наиболее приемлемой схемой изгиба при радиально–ротационном профилировании является растяжение – изгиб (р–и) и сжатие на выпуклой поверхности изгиба. В этом случае разнотолщинность детали минимальна, величина деформирующих усилий в 2–3 раза меньше чем при изгибе с осевым сжатием, локализации деформаций не происходит.

Рассмотрим основные схемы профилирования ободьев колес с точки зрения обеспечения разнотолщинности и отсутствия локализации деформаций.

Основные схемы профилирования: гибка формовка; гибка отбортовка; раздача с обжимом (краевые участки подвергаются тангенциальному растяжению, а элементы ручья укорочению); ротационная раздача; радиально–осевое ротационное профилирование; радиально–ротационное профилирование (РРП) при маятниковом покачивании и сдавливании профилируемой оболочкой; РРП с разводящими по горизонтальной оси роликами; РТР с обжимом, обжимом с подпором, отбортовкой и закаткой; РТР с набором металла.

Часть из этих схем приведена на рис. 2. Наиболее приемлемой из существующих схем профилирования является схема процесса изготовления ободьев колес, которая выполняется по методу радиально–осевого ротационного профилирования.

По этому методу профиль обода образуется путем обкатывания внутренней поверхности цилиндрической обечайки вращающейся головкой, снабженной обкатными профилировочными роликами и путем использования осевого подпора в перемещающемся очаге деформации. Максимальное утонение в этом случае не превышает 12 %. Во всех остальных методах утонение даже при использовании интенсифицирующих факторов лежит в пределах 18–22 %. Даже попытка уменьшить утонения путем набора металла и последующего спрямления ручья оказалась не эффективной. Избыточный материал распределяется на прямолинейном участке.

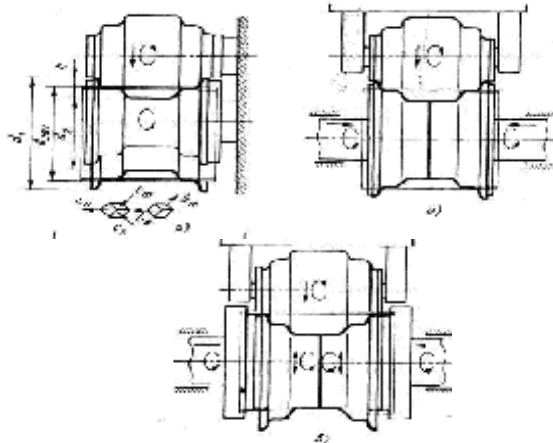
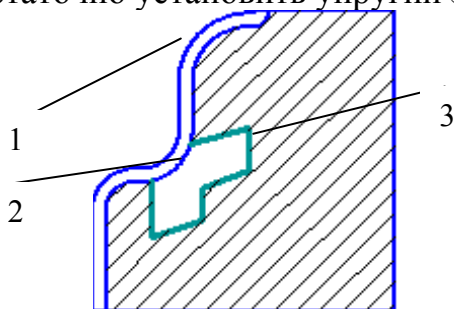


Рис. 2. Схемы изготовления ободьев на станках радиального профилирования а – консольное расположение рабочих профилирующих роликов; б, в – проходное расположение рабочих профилирующих роликов

При радиально–осевом ротационном профилировании прямолинейный участок свободен от нагружения и не препятствует перетеканию материала в периферийные участки оболочки. Причем радиусы изгиба 1 получены с радиальным подпором с выпуклой стороны изгиба. Для создания радиального подпора на радиусе 2 достаточно установить упругий элемент 3 (рис. 3).



Наибольшая равномерная деформация листовой заготовки (минимальное утонение, отсутствие локализации деформаций) достигается в процессах пластического формоизменения, при

$$m = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = 1 [2], \text{ где } \sigma_2, \sigma_1 - \text{главные нормальные}$$

напряжения. Это соответствует равномерному двухосному растяжению. Из всех рассмотренных процессов профилирования ближе к равномерно-

Рис. 3. Радиально–осевое ротационное профилирование с радиальным подпором

му двухосному растяжению радиально–осевой процесс.

При формоизменении обода колеса 4,5 Е–16 из 1,2 – радиусы изгиба; 3 – упругий элемент

листовой стали 0,8 ПС толщиной 3,5 мм из заготовки размерами $184 \pm 1 \times 1240 \pm 2$ показатель упрочнения материала $n = 0,22 - 0,25$, предел текучести и временное сопротивление соответствовало стандартам. Деталь полученная методом РРП имеет максимальное утонение в местах радиусных переходов центрального ручья – 18–20%; 12–14%; 38–40%. Дно центрального ручья утолщается на 5–7%. При радиально осевой раздаче (РР) утонения в радиусных переходах не превышает 10–12 %. При этом происходит утонение дна центрального ручья на 3–5 %. Это связано с отсутствием радиальных деформирующих усилий, что обеспечивают свободное течение металла в краевые зоны. В качестве оценки локального деформированного состояния использовался критерий А.Д. Томленова - η [2].

Для сравниваемых процессов при напряженных состояниях определяемых коэффициентом m , получили $m = -0,88$, $\eta = 0,92$; для РР $m = 0,92$, $\eta = 0,63$; т.е. процесс РР имеет значительный резерв пластичности и сохранения сплошности сварного шва и околошовной зоны.

Не менее эффективно трансформируемое устройство для радиально ротационного профилирования (рис. 4).

Устройство содержит внутренние ролики, посаженные на горизонтальные валы, которые имеют встречное осевое движение и три наружных – радиальных движения.

На первых и вторых профилирующих поверхностях наружных роликов размещены сегменты высотой не меньше 0,2 толщины заготовки, на первом в форме равностороннего треугольника, на втором – равнобедренной трапеции. Кроме этого, между наружными роликами установлены не менее трех калибровочных роликов, оси которых шарнирно соединены между собой и осями наружных роликов коромыслами, что дает возможность радиального перемещения.

Устройство состоит из внутренних роликов 1 и 2, между ними помещается заготовка. Ролики 1,2 посажены на горизонтальные валы 4. Радиальное движение выполняют наружные ролики 5, 6, 7. На рабочих поверхностях роликов 5 и 6 размещены сегменты в форме равностороннего треугольника 8, на ролике 5 - в форме равнобедренной трапеции 9, на роликах 6 и 7 - профилирующая поверхность гладкая. Высота сегментов 8, 9 равняется 0,2-0,3 от толщины заготовки.

Между профилирующими наружными роликами 5, 6, 7 установлены, как минимум, три наружных калибрующих ролика 10, 11, 12.

Профилирующие ролики соединяются шарнирно с коромыслами 13 и калибрующими роликами 10, 12. Калибрующие ролики 11 соединяются шарнирно с коромыслами 14 и центральным калибрующим роликом.

Работа устройства для радиально-ротационного профилирования с равномерным размещением по периметру зон деформаций происходит следующем образом.

Боковые кромки заготовки 3, которые охватываются внутренними роликами 2 и 1 фиксируются под ними. Внутренние ролики 1,2 сближаются, выпучиваются и разбортовывают краевые элементы заготовки 3, а наружные 5, 6, 7 профилируют их.

Наличие сегментов обеспечивает образование распирающих усилий от центральных частей заготовки к зоне радиусных переходов.

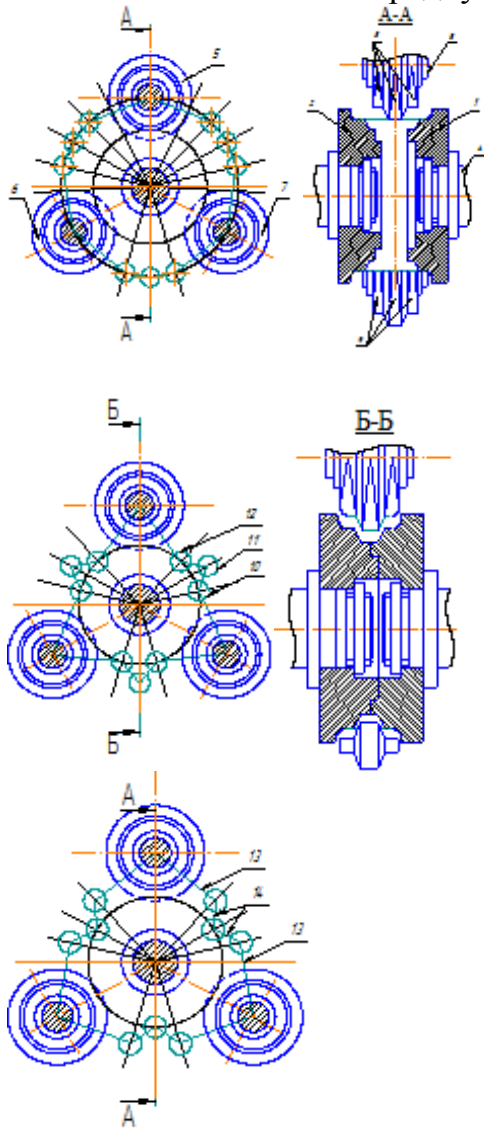


Рис. 4. Устройство для радиально-ротационного профилирования

выпуклой стороны на дно центрального ручья. Такая схема реализуется в методе радиально-осевого ротационного профилирования. Применяв этот метод, достигаем разнотолщинность, не превышающую 10–12%.

Список литературы: 1. Ершов В.И. и др. Совершенствование формоизменяющих операций листовой штамповки. – М.: Машиностроение, 1990. – 312 с. 2. Томленов А.Д. Теория пластического деформирования металлов. – М.: Металлургия, 1972. – 480 с.

УДК 621.771.26

БИЛЛЕР В.В., канд. техн. наук, нач. группы прокатного отдела, УкрГНТЦ «Энергосталь», г. Харьков

ПОПОВ А.В., инженер прокатного отдела, УкрГНТЦ «Энергосталь», г. Харьков
СОЗДАНИЕ ПЕРВОГО В УКРАИНЕ БАЛОЧНОГО СТАНА